

以晶片黏貼技術開發高亮度發光二極體=fabrication of high-brightness light-emitting diodes by wafer bonding technology

謝其華、武東星；韓斌

E-mail: 9100407@mail.dyu.edu.tw

摘要

高亮度發光二極體，已廣泛的運用在戶外看板、煞車燈、交通號誌、顯示器等。磷化銦鋁鎵發光二極體，擁有高的發光效率，發光波長範圍可由黃光至紅光。磷化銦鋁鎵發光二極體需要磊晶成長晶格匹配在砷化鎵基板上，但是砷化鎵基板會吸收磷化銦鋁鎵所發出的可見光且其熱傳較矽為差，因此限制了其在高電流的發光效率。本論文研究目的是在2吋的矽晶圓上，鍍上金和金鍍薄膜形成鏡面反射基板，金和金鍍薄膜不但能作為反射基板，還可以當作晶片對的黏貼層及形成p型磷化銦鋁鎵半導體磊晶膜的歐姆接觸金屬，經實驗結果分析，鏡面反射基板與磷化銦鋁鎵發光二極體的最佳化黏貼製程可在溫度450 °C以下完成。晶片黏貼後的鍵結強度，經破裂開口法量測到的表面能量為 1.2155×10^6 erg/cm²，其大於矽基板在1400°C相互黏貼的黏合強度2200 erg/cm²。且金屬黏著拉力大於12.7388 kg/cm²，可承受一般後段製程晶粒切割之破壞力。在本論文中我們比較了在矽基板上無500 nm厚二氧化矽膜對黏貼發光二極體之影響，且有500 nm厚二氧化矽膜的晶片黏貼發光二極體，在去除砷化鎵基板後之磊晶膜，經X光繞射與曲率量測可測得磊晶膜係受到壓縮應力17.6~39.2 MPa。但因磊晶需在成長溫度下考慮晶格匹配的因素，使得晶片黏貼後光激光譜測得是伸張應力0.86~2.59 MPa。而在無二氧化矽膜的晶片黏貼發光二極體，去除砷化鎵基板後之磊晶膜，經曲率量測測得是伸張應力97.21 MPa，大於有500 nm厚二氧化矽膜的晶片黏貼發光二極體磊晶膜。經晶片黏貼後的發光二極體，因良好的散熱特性及金屬的鏡面反射，在電流20 mA下光強度是原始發光二極體的8倍，電流100 mA時光通量可達7500 微流明及25mW，且效率最高為84 lm/W。溫度400 °C、電流20 mA環境下的元件老化性測試後，有500 nm厚二氧化矽膜的晶片黏貼發光二極體在9.5小時後才出現衰竭，優於無二氧化矽膜的晶片黏貼發光二極體5.5小時即衰竭的現象。而溫度80 °C、電流50 mA環境下的元件，在測試2000小時後，電壓與光強度的變化都在±10 %之內。因此在發光二極體未來朝向高亮度、高功率與大面積的趨勢下，本論文所研發之晶片黏貼型發光二極體將更具發展潛力。

關鍵詞：磷化銦鋁鎵；晶片黏貼；發光二極體；老化性；鏡面反射基板

目錄

封面內頁 簽名頁 授權書	iii	中文摘要	iii
.	iv	Abstract	vi
.	viii	目錄	ix
.	xii	第一章 緒論	1
1.1 發光二極體之發展歷史	1	1.2 LED磊晶條件及改善LED瓶頸之法	1
.	2	1.3 現有LED的缺點及本論文之改良與創新	4
.	4	1.3.1 現有LED的缺點	4
.	4	1.3.2 本論文的改良與創新	5
.	7	第二章 理論模型與量測分析原理	7
.	7	2.1 理論模型與量測	7
.	7	2.1.1 電流-電壓特性	7
.	7	2.1.2 溫度影響	9
.	9	2.1.3 金屬與半導體 體界面影響	9
.	9	2.1.4 LED元件的發光機制	11
.	14	2.2 黏貼 鍵結量測分析	14
.	14	2.2.1 掃描式電子顯微鏡	14
.	15	2.2.2 歐傑電子能譜儀分析	15
.	16	2.2.3 破裂開口法	16
.	16	2.2.4 拉力鍵結強度測試	18
.	19	2.3 黏貼應力量測分析	19
.	19	2.3.1 X光繞射量測	19
.	20	2.3.2 Cantilever beam量測系統	19
.	20	2.3.3 光激光譜儀量測分析	20
.	22	第三章 元件製程與特性量 測	22
.	22	3.1 晶片黏貼製程	22
.	22	3.1.1 晶片準備	22
.	23	3.1.2 完成二氧化矽膜成長的矽基板Ti/Pt濺鍍	23
.	23	3.1.3 黏貼 金屬蒸鍍形成鏡面反射基板	23
.	23	3.1.4 晶片黏貼	24
.	25	3.1.5 砷化鎵吸光基板去除	25
.	26	3.2 元件製程	26
.	26	3.2.1 平台蝕刻	26
.	26	3.2.2 AuGe、Au, n-型歐姆接觸金屬蒸鍍與金屬- 半導體合金化	27
.	27	3.2.4 元件切割、打線與封裝	27
.	28	3.3 元件特性與老化性量測	28
.	28	第四章 結果與討論	28

30 4.1 晶片黏貼製程	30 4.1.1 改變黏貼扭力
30 4.1.2 改變黏貼溫度	31 4.1.3 改變晶片黏貼加熱時間
32 4.1.4 改變石墨片中金屬片、藍寶石片的放置	32 4.2 黏貼鍵結量測結果
33 4.2.1 掃描式電子顯微鏡量測結果	33 4.2.2 歐傑電子能譜儀量測分析
34 4.2.3 破裂開口法量測結果	34 4.2.4 拉力鍵結強度量測結果
35 4.3 黏貼應力量測結果	36 4.3.1 Cantilever beam量測結果
36 4.3.2 X光繞射量測結果	37 4.3.3 光子激光儀量測分析
39 4.3.4 應力量測結果討論	41 4.4 元件基本特性測結果
42 4.4.1 光強度	42 4.4.2 光通量
44 4.5 老化性測試結果	44 第五章 結論
49 參考文獻	51

參考文獻

- [1] G. B. Stringfellow, "High brightness light emitting diode," Academic Press Inc. Boston, 1997, pp. 149-219.
- [2] H. Sugawara, and M. Ishikawa, and G. Hatakoshi, "High-efficiency InGaAlP/GaAs visible light-emitting diodes," *App. Phys. Lett.* Vol. 58, pp. 1010-1012, Mar. 1991.
- [3] D. A. Vanderwater, I. H. Tan, G. E. Hofler, D. C. Defever, F. A. Kish, "High-brightness AlGaInP light emitting diodes," *IEEE*. Vol. 85, pp. 1752—1764, Nov. 1997.
- [4] F. A. Kish, F. M. Steranka, D. C. DeFever, D. A. Vanderwater, K. G. Park, C. P. Kuo, T. D. Osentowski, M. J. Peanasky, J. G. Yu, R. M. Fletcher, D. A. Steigerwald, and M. G. Craford, "Very high-efficiency semiconductor wafer-bonded transparent-substrate (AlxGa1-x)0.5In0.5P/GaP light-emitting diodes," *Appl. Phys. Lett.* Vol. 64, pp. 2839-2841, May. 1994.
- [5] F. A. Kish, "Wafer-scale production of LEDs via wafer bonding: achievements and challenges," *LEOS '96*, Boston, 1996, pp. 292—293.
- [6] G. E. Hofler, D. A. Vanderwater, D. C. DeFever, F. A. Kish, M. D. Camras, F. M. Steranka, and I.-H. Tan, "Wafer bonding of 50-mm diameter GaP to AlGaInP-GaP light-emitting diode wafers," *Appl. Phys. Lett.* Vol. 69, pp. 803-805, Aug. 1996.
- [7] S. C. Wei, and C. Y. Tseng, M. F. Huang, K. H. Chang, P. H. Liu, and K. C. Lin, "AlGaInP light-emitting diodes with mirror substrates fabricated by wafer bonding," *Appl Phys Lett.* Vol. 75, pp. 3054-3056, Nov. 1999.
- [8] R. H. Horng, D. S. Wu, S. C. Wei, and C. Y. Tseng M. F. Huang, K. H. Chang, P. H. Liu, and K. C. Lin, "AlGaInP light-emitting diodes with mirror substrates fabricated by wafer bonding," *Appl. Phys. Lett.* Vol. 75, pp. 3054-3056, Nov. 1999.
- [9] C.H. Seieh, R.H. Horng, M.F. Huang, D.S Wu., W.C. Peng, S.J. Tsai, J.S. Liu, "Wafer bonding of 50 mm diameter mirror substrate to AlGaInP light-emitting diode wafer," *LEOS '00*, Puerto Rico, 2000, pp. 854—855.
- [10] 施敏 原著, 張俊彥 譯著, "半導體元件物理與製程技術," 第三版, 高立圖書有限公司, 台北, 臺灣, 2000, pp. 104-115.
- [11] 同[10], pp. 192-206.
- [12] 史光國, "現代半導體發光及雷射二極體材料技術," 全華科技, 台北, 臺灣, 2001, pp. 4-1~4-10.
- [13] 汪建民, "材料分析," 中國材料學會, 新竹, 臺灣, 1998, pp 121-145.
- [14] 同[13], pp 305-347.
- [15] Q. Y. Tong, and U. Gosele, "Semiconductor wafer bonding: Science and technology," John Wiley & Sons, Inc, New York, 1999, pp. 22-31.
- [16] 同[13], pp 73-100.
- [17] 同[13], pp 237-257.
- [18] D. S. Wu, R. H. Horng, and M. K. Lee, "Indium phosphide on silicon heteroepitaxy: Lattice deformation and strain relaxation," *J. Appl. Phys.* Vol. 68, pp. 3338-3342. Oct. 1990.
- [19] P. Bhattacharya, "Semiconductor optoelectronic devices," 2nd Edition, Prentice Hall International, Inc. New Jersey, 1997, pp. 22-25.
- [20] V. Swaminathan, A. T. Macrander, "Materials Aspects of GaAs and InP Based Structures," Prentice Hall International, Inc. New Jersey, 1999, pp. 22-29.
- [21] D. B. Bour, "AlGaInP quantum well laser" in "Quantum well laser," edited by P. Zory, Academic Press Inc. Boston, 1993. pp. 415-460.
- [22] J. Berntgen, T. Lieske, B. Schineller, M. Deufel, M. Heuken, H. Juergensen, K. Heime, "Influence of thermal stress on I-V characteristics and low frequency noise of AlGaInP UHB-LEDs," *IEEE. 10th Intern. Conf. on indium phosphide and related materials*, Tsukuba, Japan, 1998, pp. 741-744.
- [23] Kish, F.A. Vanderwater, D.A. DeFever, D.C. Steigerwald, D.A. Hofler, G.E. Park, K.G. F. M. Steranka, "Highly reliable and efficient semiconductor wafer-bonded AlGaInP/GaP light-emitting diodes," *Electron. Lett.* Vol. 32, pp. 132—134, Jan. 1996.
- [24] 同[10], pp. 115-116.